

УДК 620.178 + 678.01

## Теоретическое обоснование возникновения и направления развития трещин при ударном нагружении поверхности эластомера твердыми частицами

В.Г. Копченков

Северо-Кавказский федеральный университет,  
ул. Пушкина, 1, г. Ставрополь 355009, Россия

Поступила в редакцию 26.10.2022.

После доработки 19.02.2023.

Принята к публикации 21.02.2023.

Рассмотрена теоретическая модель формирования напряжённо-деформированного состояния в эластомерах при действии сосредоточенной нагрузки. Проведены экспериментальные исследования с использованием поляризационно-оптического метода. В качестве образца использовался прозрачный полиуретан L-83 с физико-механическими характеристиками, соответствующими типовым резинам. Показано, что напряжённо-деформированное состояние поверхностного слоя, рассчитанное в результате теоретического решения математической модели, совпадает с экспериментальными данными. При нагружении создаются зоны напряжений сжатия и растяжения. Величина напряжения растяжения определяет вероятность повреждения поверхности (надрыв). Моделирование косоугольного удара подтвердило качественную картину напряжённо-деформированного состояния в эластомерах при действии сосредоточенной нагрузки. Теоретическое исследование позволило установить, что потенциальная энергия деформации распределяется по глубине поверхностного слоя обратно пропорционально квадрату расстоянию от точки приложения силы, то есть точки контакта твёрдой частицы с поверхностью эластомера. Это позволяет математически рассчитать уровень и распределение диссипации энергии в изнашиваемом объёме поверхностного слоя. Теоретические и практические исследования показали, что при практическом использовании эластомерных футеровок рекомендуется их установка под углом близким к 90 градусам к направлению потока твёрдых частиц.

**Ключевые слова:** изнашивание эластомеров потоком частиц, ударное нагружение, напряжённо-деформированное состояние, распределение напряжений, распределение диссипации энергии, потенциальная энергия деформации, направление развития трещин, поляризационно-оптический метод.

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-1-93-98

**Адрес для переписки:**

В.Г. Копченков  
Северо-Кавказский федеральный университет,  
ул. Пушкина, 1, г. Ставрополь 355009, Россия  
e-mail: kopchenkov2@rambler.ru

**Address for correspondence:**

V.G. Kopchenkov  
North Caucasian Federal University,  
st. Pushkina, 1, Stavropol 355009, Russia  
e-mail: kopchenkov2@rambler.ru

**Для цитирования:**

В.Г. Копченков  
Теоретическое обоснование возникновения и направления развития трещин при ударном нагружении поверхности эластомера твердыми частицами.  
Трение и износ.  
2023. – Т. 44, № 1. – С. 93–98.  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-1-93-98

**For citation:**

V.G. Kopchenkov  
[Theoretical Substantiation of the Initiation and Direction of Crack Development under Impact Loading of the Elastomer Surface by Solid Particles].  
*Trenie i Iznos*.  
2023, vol. 44, no. 1, pp. 93–98 (in Russian).  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-1-93-98

# Theoretical Substantiation of the Initiation and Direction of Crack Development under Impact Loading of the Elastomer Surface by Solid Particles

V.G. Kopchenkov

North Caucasian Federal University,  
st. Pushkina, 1, Stavropol 355009, Russia.

Received 26.10.2022.

Revised 19.02.2023.

Accepted 21.02.2023.

A theoretical model of the formation of a stress-strain state in elastomers under the action of a concentrated load is considered. Experimental studies were carried out using the polarization-optical method. As a sample, transparent polyurethane L-83 with physical and mechanical characteristics corresponding to typical rubbers was used. It is shown that the stress-strain state of the surface layer calculated as a result of the theoretical solution of the mathematical model coincides with the experimental data. When loading, zones of compressive and tensile stresses are created. The magnitude of the tensile stress determines the likelihood of surface destruction (tearing). Simulation of an oblique impact confirmed the qualitative picture of the stress-strain state in elastomers under the action of a concentrated load. A theoretical study made it possible to establish that the potential energy of deformation is distributed over the depth of the surface layer in inverse proportion to the square of the distance from the point of application of the force, i.e. the point of contact of the solid particle with the surface of the elastomer. This makes it possible to mathematically calculate the level and distribution of energy dissipation in the wear volume of the surface layer. Theoretical and practical studies have shown that in the practical use of elastomer linings, it is recommended to install them at an angle close to 90 degrees to the direction of solids flow.

**Keywords:** elastomer wear with stream particles, impact loading, stress-strain state, energy dissipation distribution, potential strain energy, crack initiation, direction of crack development, polarization-optical method.

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-1-93-98

---

**Адрес для переписки:**

В.Г. Копченков  
Северо-Кавказский федеральный университет,  
ул. Пушкина, 1, г. Ставрополь 355009, Россия  
e-mail: kopchenkov2@rambler.ru

**Для цитирования:**

В.Г. Копченков  
Теоретическое обоснование возникновения и направления развития трещин при ударном нагружении поверхности эластомера твердыми частицами.  
Трение и износ.  
2023. – Т. 44, № 1. – С. 93–98.  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-1-93-98

---

**Address for correspondence:**

V.G. Kopchenkov  
North Caucasian Federal University,  
st. Pushkina, 1, Stavropol 355009, Russia  
e-mail: kopchenkov2@rambler.ru

**For citation:**

V.G. Kopchenkov  
[Theoretical Substantiation of the Initiation and Direction of Crack Development under Impact Loading of the Elastomer Surface by Solid Particles].  
*Trenie i Iznos*.  
2023, vol. 44, no. 1, pp. 93–98 (in Russian).  
**DOI:** 10.32864/0202-4977-2023-44-1-93-98

## Список использованных источников

1. **Мифтахова А.Р.** Контактные задачи о качении с проскальзыванием для вязкоупругих тел // Трение и износ. — 2018 (39), № 1, 71—79
2. **Пенкин Н. С., Копченков В. Г., Сербин В.М. и др.** Гуммированные детали машин. — М.: Машиностроение. — 2013
3. **Бартенев Г.М., Лаврентьев В.В.** Трение и износ полимеров. — Л.: Химия. — 1972
4. **Jones L.C.** Low Angle Scouring Erosion behaviour of Elastomeric Materials // Wear. — 2011 (271), nos. 9—10, 1411—1417. DOI:10.1016/j.wear.2010.12.057
5. **Anderson K., Karimi S., and Shirazi S.** Erosion Testing and Modeling of Several Non-Metallic Materials // Wear. — 2021 (477), 203811. DOI:10.1016/j.wear.2021.203811
6. **Бродский Г.И., Евстратов В.Ф., Сахновский Н.Л., Слюдников А.Д.** Истирание резины. — М.: Химия. — 1975
7. **Копченков В.Г.** Моделирование изнашивания эластомеров ударом твердых частиц под углом к поверхности // Трение и износ. — 2017 (38), № 2, 158—164
8. **Самуль В.И.** Основы теории упругости и пластичности. — М.: Высшая школа. — 1970

## References

1. **Miftakhova A.R.** Contact Problems for Rolling with Slip for Viscoelastic Solids // Journal of Friction and Wear. — 2018 (39), no. 1, 55—61. <https://doi.org/10.3103/S1068366618010105>
2. **Penkin N.S., Kopchenkov V.G. and Serbin V.M. et al.** Rubberized machine parts. — M.: Mashinostroenie. — 2013 (in Russian)
3. **Bartenev G.M., Lavrentiev V.V.** Friction and wear of polymers. — L.: Chemistry. — 1972 (in Russian)
4. **Jones L.C.** Low Angle Scouring Erosion behaviour of Elastomeric Materials // Wear. — 2011 (271), nos. 9—10, 1411—1417. DOI:10.1016/j.wear.2010.12.057
5. **Anderson K., Karimi S., and Shirazi S.** Erosion Testing and Modeling of Several Non-Metallic Materials // Wear. — 2021 (477), 203811. DOI:10.1016/j.wear.2021.203811
6. **Brodskii G.I., Evstratov V.F., Sakhnovskii N.L., Slyudnikov A.D.** Rubber abrasion. — M.: Chemistry. — 1975 (in Russian)
7. **Kopchenkov V.G.** Modeling Elastomer Wear under the Effects of Solid Particles at an Angle to the Surface // Journal of Friction and Wear. — 2017 (38), no. 2, 162—167. <https://doi.org/10.3103/S106836661702012X>
8. **Samul V.I.** Fundamentals of the theory of elasticity and plasticity. — M.: Higher school. — 1970 (in Russian)

Для приобретения полного текста статьи, обращайтесь в редакцию журнала.  
Адрес редакции: 246050, ул. Кирова 32а, г. Гомель, Беларусь. Телефон/факс: +375 (232) 34 06 36 / 34 17 11  
Full text of articles can be purchased from the editorial office.  
Address: 32a Kirov Street, Gomel, Belarus, 246050. Phone: +375 (232) 34 06 36. Fax: +375 (232) 34 17 11  
E-mail: [FWJ@tut.by](mailto:FWJ@tut.by)